

一个有临床应用及理论意义的方向。

最后,值得提出的是:在荷兰放射生物学研究所,有的研究者开展了以辐射作为转化的

手段,再提取转化细胞的DNA,转染正细胞,由此探讨致癌基因的结构。

建筑材料的放射性水平和限制量研究

浙江人民卫生实验院 孙性善综述 章仲候* 徐海超** 审

随着人类文明的发展,人们每天在建筑物内度过的时间逐渐增加。故了解建筑物内的辐射水平,对估算人群的集体剂量当量是十分重要的,而建筑物内的辐射水平又与建筑材料中放射性核素含量有密切关系^[1~7]。近十多年来,一些国家和地区相继进行了建筑材料中天然放射性核素水平的调查^[8,9,10~13],对某些放射性水平较高的建筑材料的使用已引起了关注^[14~16];为使人群的集体剂量当量控制在较低的水平,有的国家对建筑材料中天然放射性核素含量规定了限制标准^[17,20~24];对不同放射性水平的建筑材料,有的学者提出了分级使用的建议^[22];有的国家对铀厂尾矿渣

和磷酸盐工业的磷石膏和磷渣用作建筑材料修建住房时,规定了屋内辐射水平的上限,超过上限时需采取补救措施^[25~27]。

本文就国外建材的放射性水平和限制量研究简况作一概述。

一、传统建材的放射性水平

自1952年英国德比州皇家医院的Hoather^[8]偶然发现贴墙的彩色瓷砖具有相当高的放射性(由釉彩中着色剂铀盐所引起)后,英国、苏联和西德等11个国家和我国台湾省对各种建材中放射性核素的含量进行了全国范围或地区性的调查。

表1 各国建材样品中天然放射性核素含量pCi g⁻¹(1~8,9~13)

类 别	材 料	产 地	样品数	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	C _{Ra} ^{eq}
粘 土 砖 类	砖	西 德	132	2.6	2.6	16	7.3
	砖	瑞 典	21	2.6	3.4	25	9.0
	砖	挪 威	18	1.7	2.0	30.7	6.9
	红 砖	苏 联	55	1.5	1.0	20	4.5
	红 砖	东 德	21	1.5	1.1	17	4.4
	红 砖	匈 牙 利	15	1.2	1.4	16	4.3
	红 砖	中国台湾省	—	—	1.8	16	—
	粘土砖	英 国	23	1.4	1.2	17	4.4
	黄 砖	匈 牙 利	5	1.4	1.2	17	4.4
	建筑砖	荷 兰	—	0.7	1.3	18	3.9

*苏州医学院 **军事医学科学院

混凝土类	混凝土	挪威	137	0.8	2.0	17.6	3.8
	混凝土	西德	69	1.8	1.7	15	5.2
	混凝土	英国	5	2.0	0.8	14	4.2
	混凝土	美国	4	0.7	0.6	7.4	2.1
	混凝土	匈牙利	30	0.3	0.4	5	1.2
	重混凝土	瑞典	15	1.3	2.3	19	5.8
	重混凝土	苏联	87	0.9	0.8	15	3.2
	加气混凝土	瑞典	22	1.5	1.9	9	4.7
	加气混凝土	英国	—	2.4	0.4	19	4.5
	泡沫混凝土	匈牙利	2	3.0	0.8	5	4.4
	轻混凝土	苏联	16	2.0	0.9	14	4.3
	飞灰混凝土	英国	3	1.2	1.0	12	3.5
水泥类	水泥	西德	19	1.2	1.2	5.2	3.2
	水泥	瑞典	8	1.5	1.5	6.3	3.9
	水泥	苏联	7	1.2	1.2	6.0	3.2
	水泥	东德	5	0.8	0.5	5.0	1.9
	水泥	匈牙利	12	0.7	0.5	4.0	1.7
	飞灰水泥	匈牙利	6	1.5	1.2	8.0	3.7
砂砾类	砂砾及砂	西德	50	<0.4	<0.5	7.0	<1.6
	天然砂	苏联	18	0.5	0.5	8.0	1.8
	多脑河石子	匈牙利	1	0.2	0.3	7.0	1.2
集料类	岩石集料	瑞典	296	1.3	1.9	22	5.6
	岩石集料	英国	3	1.4	0.1	22	3.4
	集料	东德	7	0.6	0.7	6.0	2.0
	轻质集料	挪威	12	1.4	1.5	21.9	5.1
石膏类	天然石膏	西德	23	<0.5	<0.3	2.0	<1.1
	天然石膏	英国	69	0.6	0.2	4.0	1.2
	天然石膏	瑞典	4	0.1	<0.04	0.6	<0.2
	石膏	苏联	1	0.3	0.2	10.0	1.3
其它	石灰、大理石	西德	20	<0.5	<0.5	1.0	<1.2
	石灰石	东德	—	0.3	0.4	11.0	1.8
	人造石块	东德	10	0.6	0.7	6.0	2.0
	矿棉	英国	2	0.4	0.4	6.0	1.4
	绝热材料	匈牙利	1	1.1	1.7	17	4.7
	饰面材料	苏联	35	1.9	2.3	39	8.2
世界土壤均值				0.7	0.7	10	2.4

表1综合了各国传统建材中 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 和“镭当量浓度 $C_{\text{Ra}}^{\text{eq}}$ ”的均值(以 pCi g^{-1} 表示)。由表1可见,不同类型的建材其平均含量差异很大,如瑞典的粘土砖和天然石膏的 ^{232}Th 含量相差80多倍,这和它们的原

材料的各自地球化学特性有关^[9]。就是同类材料,因产地不同其含量亦相差较大,如苏联各地的硅酸盐水泥的 ^{226}Ra 含量相差12倍^[4],Toth等采用测量值中的极差(最大值与最小值之差)与平均值的比值来表示这种变化,他们得到的比值 ^{232}Th 为218%, ^{226}Ra 为171%。

^{40}K 为165%^[10]。由于各类建材中 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{40}K 的含量参差不齐,为了用一个统一的量来衡量它们的 γ 放射性水平,Крисюк等^[22,20]采用“镭当量浓度 $C_{\text{Ra}}^{\text{eq}}$ ”来表示

$C_{\text{Ra}}^{\text{eq}} = C_{\text{Ra}} + 1.26C_{\text{Th}} + 0.086C_{\text{K}}$ 。经计算后的 $C_{\text{Ra}}^{\text{eq}}$ 值列于表1最后一项。各类传统建材的 $C_{\text{Ra}}^{\text{eq}}$ 一般变化趋势是:以天然石膏、石灰、砂砾和水泥类较低,混凝土和集料类居中,以粘土砖类较高。

但就建筑业上使用的主要建材来看,其变化范围并不很大,如粘土砖和水泥 ^{226}Ra 和 ^{232}Th 的平均含量仅相差3~4倍, ^{40}K 约1倍。混凝土中 ^{226}Ra 和 ^{232}Th 相差约6倍, ^{40}K 约3倍,这和集料有关,以花岗岩和砂砾为集料时,相

差就大,以燧石为集料就低^[9]。 $C_{\text{Ra}}^{\text{eq}}$ 的变化趋势为粘土砖>混凝土>水泥>天然砂。

也发现了某些单一核素特别高的岩石集料,如瑞典的明矾页岩含 ^{226}Ra 很高^[18];又如美国田纳西州东部使用一种沉积页岩做混凝土砌块,这种页岩的 ^{40}K 含量很高^[5]。

二、放射性水平较高的建材

各国调查中发现放射性水平高于传统建材平均水平的建材及原材料综合在表2。大致可分为二类:一是自然界中天然存在的岩石料,如花岗岩、花岗闪长岩和凝灰岩等火成岩,瑞典的明矾页岩,西德和苏联的浮石等。二是放射性核素含量较高的某些工业废渣制成的建材。

表 2 放射性水平较高建材的核素含量 pCi g^{-1} (1、2、4、5、7、9、10、12、14、20)

类 别	材 料	产 地	样 品 数	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	$C_{\text{Ra}}^{\text{eq}}$
岩 石 料	花 岗 岩	西 德	34	2.6	2.2	33	8.2
	花 岗 岩	苏 联	2	3.0	4.5	40	12.1
	花 岗 岩	英 国	7	2.4	2.3	28	7.7
	火山质凝灰岩	苏 联	13	2.6	2.0	18	6.7
	浮 石	西 德	20	3.0	3.4	29	9.8
	浮 石	东 德	20	2.4	1.7	20	6.3
	浮石渣	苏 联	6	5.5	1.5	5	7.8
	明矾页岩	瑞 典	83	40.4	2.0	23	44.9
	混 凝 土	瑞 典	10	3.9	4.3	27	11.6
	轻质集料	瑞 典	10	3.9	4.3	27	11.6
磷酸盐工业废料	磷 石 膏	西 德	39	16.0	<0.4	3	16.8
	磷 石 膏	英 国	6	21.0	0.5	2	21.8
	磷 石 膏	美 国	—	40.0	0.2	—	—
	人工石膏	东 德	5	18.0	0.5	3	18.9
	磷 渣	苏 联	15	6.1	0.6	4	7.2
冶金电力工业废料	赤 泥 砖	西 德	23	7.6	6.3	9	16.3
	飞灰混凝土	匈 牙 利	5	6.0	4.7	18	13.5
	高 炉 渣	苏 联	29	1.8	0.5	6.6	3.0
	飞灰混凝土	牙 匈 利	1	23.8	1.7	13	27.2
苏联常用建材							2.7

对工业废渣制建材报道较多的有:

1. 磷酸盐工业的副产品和废渣——磷石

膏和磷渣。据报道沉积型磷灰岩的铀系核素含量要比其它类型磷灰岩高得多,而天然钍含量

较低,与土壤含量相当^[19,17]。用沉积型磷灰岩湿法制备磷酸时,镭主要残留于磷石膏中^[14,17],如用美国佛罗里达磷矿石得到的磷石膏,²²⁶Ra含量平均高达33pCi g⁻¹^[17];日本从美国进口磷矿石,1974年磷石膏年产量达三百万吨,用它制造的墙板含²²⁶Ra 20~25pCi g⁻¹;英国1972年磷石膏年产量超过二百万吨(磷矿石主要从北非的摩洛哥进口),²²⁶Ra含量为25pCi g⁻¹,用来制0.5吋的贴墙板和3吋的内墙隔板,后者可导至室内辐射水平明显增高^[7,9]。

用沉积型磷灰岩干法熔炉生产元素磷时,镭几乎全部残留于硅酸钙——磷渣中^[14,19],如美国爱荷达州磷酸盐厂,每年排出240万吨磷渣,有的含²²⁶Ra高达35pCi g⁻¹,被用于筑路和一些民用住宅中,使有的住房中γ照射量增至37μR/hr,室内氡子体浓度超过0.01WL^[14]。

2. 冶金和电力工业的废渣。西德Kolb等报道炼铝厂的废料——赤泥,其放射性水平较高,建筑业用的赤泥砖,²²⁶Ra含量为西德一般粘土砖的3倍^[12]。一些地区的高炉渣和电站飞灰及煤渣,其放射性水平亦较高,如匈牙利利用Tatabanya一号电站飞灰制成的混凝土(含飞灰75%),²²⁶Ra含量高达23.8pCi g⁻¹,比一般混凝土高10多倍^[10]。波兰学者调查了全国各电站的飞灰样品,亦指出有的飞灰在建筑业上应限制使用。

三、建筑材料中放射性核素的限制量

制订建材中放射性核素限制量标准,目的在于限制某些高放射性水平材料的使用,使由此引起的人群集体剂量当量处于较低的水平^[4]。

从报道资料来看,苏联早在六十年代已制订了建材的限制量标准,七十年代又有新的发展。美英等国注重于对某些工业废渣的控制,控制量的上限有逐渐增严的趋势。

苏联1963年第423号公共卫生法规规定^[20],建材中放射性物质限制浓度为0.002%的

平衡态的铀和钍,或下列核素²²⁸Ra、²²⁸Th、²³⁴U、²³⁰Th、²²⁶Ra、²¹⁰Pb和²¹⁰Po的活性总和小于或等于 $2 \cdot 10^{-11}$ Ci g⁻¹。

由Крисюк等人提出,1970年由苏联辐射防护委员会审查批准^[4],1978年出版的“辐射安全标准”(即HPБ-76)中第七节规定,用于住宅和公共建筑物的建筑材料的天然放射性核素比活性不得高于:²²⁶Ra 1×10^{-8} Ci/kg、²³²Th 7×10^{-9} Ci/kg、⁴⁰K 1.3×10^{-7} Ci/kg。其总活性应符合下式:

$$\frac{C_{Ra}}{1 \times 10^{-8}} + \frac{C_{Th}}{7 \times 10^{-9}} + \frac{C_K}{1.3 \times 10^{-7}} \leq 1$$

比活性以pCi g⁻¹为单位时,则上式成为^[1,12,23]:

$$\frac{C_{Ra}}{10} + \frac{C_{Th}}{7} + \frac{C_K}{130} \leq 1$$

此式已被许多报道所引用,UNSCEAR 1977年报告书亦作了介绍,并指出 $C_{Ra} \leq 10$ pCi g⁻¹时,室内增加的氡子体浓度不超过0.03 WL。

但kolb等人的报道指出,他们分析的西德建材样品中有12%超过苏联上述限值。他们提出,按上式计算,对大于1小于2.5的建材,应对制造厂的产量和应用范围作出某种控制;对超过2.5的建材,在权衡利弊的基础上,由主管当局审定限制使用^[12]。

1980年,Крисюк根据人们在各类建筑物内可能接受的照射量的大小,按 C_{Ra}^{eq} 的高低,建议把建材划分为5类^[22]。

(1) $C_{Ra}^{eq} \leq 10$ pCi g⁻¹的建材,建筑业上使用不受任何限制。苏联现用建材中仅1%超过此值,它们大都是火成岩类的岩石料和某些工业废料制成的建材。

(2) $10 < C_{Ra}^{eq} \leq 20$ pCi g⁻¹的建材,不能用来建造住宅和文化生活用的建筑物,但可供工业建筑物和筑路使用。因工人每周在工业建筑物中停留约40小时,不到住宅中停留时间的一半,在道路上逗留的时间更短。

(3) $20 < C_{Ra}^{eq} \leq 60$ pCi g⁻¹的材料,只可供居民点内地下建筑中(如下水道管路系统等)使用,但需有0.5米以上的泥土复盖。

(4) $60 < C_{Ra}^{226} \leq 100 \text{ pCi g}^{-1}$ 的材料, 只能供居民点外的地下建筑使用, 可用于堤坝、道路和桥梁的基础, 表面要有足够厚的低活性材料复盖。

(5) $C_{Ra}^{226} > 100 \text{ pCi g}^{-1}$ 的材料, 任何建筑业都不能使用。

Momont-ciesla 等在 1981 年印度孟买召开的国际环境放射性专题讨论会上报告了波兰现行的建材标准⁽²⁴⁾,

$$\frac{C_{Ra}}{10} + \frac{C_{Th}}{6.3} + \frac{C_K}{100} \leq 1$$

它比苏联标准稍严一点。

美国虽未制订通用建材的限制标准, 但自科州大江克欣镇动用铀厂尾砂使一批建筑物引起放射性污染事件发生后, 近十多年来, 对在建材和建筑物中使用铀厂尾砂、磷石膏和磷渣等引起了很大注意, 为控制建筑物内的辐射水平而制订的补救措施规程渐趋增严。

1970年, 处理大江克欣镇污染事件的公共卫生署“署长规定”中指出⁽²⁵⁾, 室内 γ 照射量率低于 $(50 + \text{本底}) \mu\text{R/hr}$, 氡子体浓度低于 0.01 WL , 不需采取措施; 在 $(50 + \text{本底}) \sim (100 + \text{本底}) \mu\text{R/hr}$, $0.01 \sim 0.05 \text{ WL}$, 根据情况采取措施; 高于 $(100 + \text{本底}) \mu\text{R/hr}$, 大于 0.05 WL 时, 必须采取措施。

1978年, 美国环保局制订了“铀厂尾砂辐射管理条例”, 认为对动用尾砂的25个地区要采取补救措施。1981年4~5月举行公众意见听取会后, 规定室内 γ 照射量率超过 $(20 + \text{本底}) \mu\text{R/hr}$ 和氡子体浓度高于 0.015 WL (包括本底在内) 时, 需要采取补救措施⁽²⁶⁾。

一些研究人员和个别州首先提出对磷酸盐工业副产品和废渣的放射性控制, 如1977年美国爱荷达州制订了磷渣辐射控制规程, 其中规定: (1) 限制用于筑路和其它室外使用, 另外的应用要由州有关当局批准; (2) 禁止用于住房内部或外部地基的填充料⁽¹⁴⁾。

1978年底, 美国环保局对磷酸盐工业的废物提出了控制标准。把磷矿开采区的表层活性矿泥和废石, 生产元素磷的磷渣, 湿法生产磷

酸的磷石膏, 当 ^{226}Ra 含量高于 5 pCi g^{-1} 时, 应作为放射性废物处理, 禁止用于建造住宅。对已使用上述材料建造的房屋内, 氡子体浓度不得高于 0.03 WL , 否则要采取补救措施⁽²⁷⁾。

瑞典用放射性水平很高的明矾页岩制造加气混凝土 (1975年已停用), 这种混凝土含 ^{226}Ra $20 \sim 65 \text{ pCi g}^{-1}$, 按产量加权平均含 ^{226}Ra 达 35 pCi g^{-1} 。用这种混凝土建造的房屋有 $35 \sim 70$ 万幢, 其中 $3000 \sim 2 \times 10^5$ 幢住房的室内氡子体浓度已达到要采取措施的水平。据估计, 它已使全瑞典室内氡的平均浓度增加了30%。为此, 瑞典政府于1979年3月成立了处理氡问题委员会, 5月提出了一个初步报告⁽¹⁸⁾, 规定室内氡子体浓度的紧急干预值为 10.8 pCi l^{-1} (包括本底)。采取补救措施后, 其浓度应尽可能低, 紧急干预的目标值为 5.4 pCi l^{-1} , 此规定暂行5年。

经济合作和发展组洲核能机构 (OECD N EA) 规定⁽²⁸⁾ 建材放射性豁免限 (exempt limit) 镭含量为 100 Bq kg^{-1} (2.7 pCi g^{-1}), 相当于苏联建材的平均镭当量浓度⁽²⁹⁾。1977年, 美国爱荷达州辐射控制规程中⁽¹⁴⁾, 规定磷渣中镭的豁免限为 0.1 pCi l^{-1} , 它似乎过严了, 大大低于世界范围土壤平均浓度 0.7 pCi g^{-1} 。

小 结

1. 传统建材的放射性水平在较大范围内变动, 这与产地的地质结构和各自的地球化学特点有密切关系。其放射性水平的基本趋势是: 粘土砖 > 岩石集料 > 混凝土 > 水泥 > 天然砂和石灰。

2. 放射性水平较高的建材有二类: 一是火成岩起源的各种岩石料及某些特种页岩。二是某些工业废料制的建材, 主要是利用磷酸盐、冶金和电力工业排放的大量废料, 如磷石膏、磷渣、赤泥、某些飞灰和高炉渣等, 它们已成为许多国家研究的主要对象。

3. 制订建材中天然放射性核素限制量法规的主要是苏联和波兰。美英注重于工业废渣

的辐射控制,它们是在处理某些建筑物内放射性污染事件中发展起来的,其补救措施规程下有限有逐步增严的趋势。制订建材的放射性限制量已引起了许多国家和国际性组织的关注,一个国际性建议书问世已为期不远了。

4. 我国工业正在飞快发展,利用工业废渣制建材是发展建材工业的重要方针之一。美国由于使用铀厂尾砂和磷酸盐工业废料曾引起一批建筑物污染,这种教训值得吸取。为降低由建材引起的集体剂量当量,限制某些高活性材料的使用,根据我国国情,尽快制订出我国建材或工业废渣的放射性限制量法规已势在必行。

参 考 文 献

1. UNSCEAR Rep 40 (A/32/40) Annex B, 1977.
2. Harley JH:PB-288743:332, 1978,
3. Крисюк ЭМ и др:СО NF-730907-p2:870, 1973.
4. Krisciuk EM et al:ERDA-tr-250:1, 1976.
5. Moeller DW et al:PB-281041:65, 1978.
6. NCRP Rep 56:29, 1977.
7. Fitzgerald et al:PB-288743:351, 1978.
8. Hoather WH:Nucleonics 10:73, 1952.
9. Hamilton EI:Am Ind Hyg Assoc J 32:398, 1971.
10. Toth A et al :KFKI-76-80:1, 1976.
11. Chang TY et al : Health Phys 27:385 , 1974.
12. Kolb W et al:PB 288743:313, 1978.
13. Stranden E:Phys Med Biol 24:921, 1979.
14. Boothe GF:Health Phys 32:285, 1977.
15. Roessler CE et al:Health Phys 37:269,1979.
16. O'Riordan MC et al:NRPB-R7:1, 1972.
17. 小田部広男,麻生末雄:Radioisotopes 28:1953, 1979.
18. Swedjemark GA:SSI-1980-14:1, 1980.
19. Eichhvlz GG et al:Health Phys 39:301, 1980.
20. Афанасьев МК и др:Гиг и Сан 12:64, 1967.
21. Нормы Радиационной Безопасности (НРБ-76) Атомиздат 1978.
22. Крсюк ЭМ:Гиг и Сан 12:32, 1980.
23. 佐藤乙丸:Radioisotopes 30:410, 1981.
24. Momont-Ciesla K et al:in Proceeding of Special Symposium on Natural Radiation Environment 1:19, 1981.
25. Steinfeld JL :in Satement of in "Hearing before the Subcommittee on Raw Materials of the Joint Committee on Atomic Energy, 92nd Congress" :p.52.U.S. Government printing office, 1971.
26. Lichtman S:Health Phys 41:871, 1981.
27. Roessler CE et at , in Proceeding of H-PS 12th Midgear Topical Symposium:p. 182, 1979.
28. Stranden E:in proceeding of IRPA 5th Vol.2:p.817, 1980.
29. Krisciuk EM et al:Health phys 39:578, 1980.

电 离 辐 射

Voelz GL: Occup Health Saf 7:34, 1982 (英文)

有一工作人员曾由于工作事故受到超过职业性照射允许年剂量约5倍的γ射线的全身照射,剂量约为25雷姆。现在,几乎二十年过去了,他仍然身体健康。或许患癌的危险度稍增加了一些,但毕竟太小,用目前的研究方法无法测定。由于低剂量照射的危险度太

小,不能直接测量,这就需要正确的评价和细心地假设来给予适当的回答。

长时间分散的照射剂量所产生的危害一般比急性剂量小,因为修复过程有时间来恢复潜在的损伤。

本文论述辐射照射的来源及其大小。也介绍估计